智能电表与"仪器云"融合技术的应用

张春晖[1]　张震[2]

（1．国 网 山 东 省 电 力 公 司 ， 山东 济南 250001；2．华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100）

摘　要：这段文字主要介绍了采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的开发与应用。首先，介绍了传统的智能电表远程在线检测系统技术的发展历程，以及这些系统的局限性和挑战。然后，介绍了本课题的由来，包括"仪器云"环境下仪器虚拟化技术的提出和云计算环境下仪器虚拟化技术的研究，以及国家电网的需求和挑战。重点讨论了采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的开发项目，包括云计算环境下仪器虚拟化技术的原理和应用，以及该系统的优势和市场前景。该系统的开发将有助于解决传统智能电表远程在线检测系统的局限性和挑战，提高计量准确性和智能诊断的准确性，同时降低系统成本，有利于系统的推广应用。

关键词：仪器云　智能电表
中图分类号：TM933.4

The application of smart meters and "instrument cloud" integration technology

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1.State Grid Shandong Electric Power Company,Jinan , Shandong 250001 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract:This text mainly introduces the development and application of the remote online detection system of smart meters using "instrument cloud" high-precision computing. Firstly, the development process of traditional smart meter remote online detection system technology, as well as the limitations and challenges of these systems are introduced. Then, the origin of this topic is introduced, including the proposal of instrument virtualization technology in the "instrument cloud" environment, the research of instrument virtualization technology in the cloud computing environment, and the needs and challenges of the State Grid. This paper focuses on the development project of the remote online detection system of smart meters using "instrument cloud" high-precision computing, including the principle and application of instrument virtualization technology in the cloud computing environment, as well as the advantages and market prospects of the system. The development of this system will help solve the limitations and challenges of the traditional smart meter remote online detection system, improve the accuracy of measurement and intelligent diagnosis, and reduce the cost of the system, which is conducive to the popularization and application of the system.

Key words:Instrument cloud　smart meters

0　引言

采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的开发项目,该系统的开发将有助于解决传统智能电表远程在线检测系统的局限性和挑战，提高计量准确性和智能诊断的准确性，同时降低系统成本，有利于系统的推广应用

1,采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统开发应用正当时!

1）传统的智能电表远程在线检测系统技术发展进程

•2002 年，吉林省电科院发布:«多路三相电能表远程微机检测系统的开发»。

•随后，2004 年由华中电网技术中心，2005 年由厦门航空公司，2007 年由上海电力表计量测管理所，2007 年由云南电力试验研究院，2008 年由原河南思达高科公司，2009 年由华北电科院，华北电网公司，2010 年由太原市优特奥科公司，2010 年由郑州三辉电气公司，2014 年由郑州瑞能公司相继发表传统的智能电表远程在线检测系统技术研究论文或新产品信息。

•以上传统的智能电表远程在线检测系统发展进程中，系统方案不断改进，其共同特征:需要配备 1 只标准电能表及计算系统，复杂了互感器二次回路。由于投资较大，目前，只用于部分电网关口计量点，少量 110kV 及以上高压变电站。同时，现在的智能电表远程在线检测技术，主要对安装于现场的标准表与被检智能电表的计量结果进行比对，而对标准计量装置的送检，维护又成为新问题，对电能计量自动化系统（或用电信息采集系统）的主站也未发挥其可集中实施数据分析，处理功能。

2）本课题的由来

2017 年 2 月，由深圳供电局，清华大学学者发表:«基于"测量仪器云"的电子式电能表远程在线检测系统»提出:智能电表远程在线检测技术开发新思路:在"仪器云"环境下，进行高精度的数据计算，处理，可以替代标准电能表及计算系统，大幅减少互感器二次回路改进工程量，降低系统成本，有利于系统推广应用。该文还给出了用户新配置的高速率数据采集终端实施方案。关于"仪器云",只作简要介绍，未叙述新一代系统设计技术方案。

之前，2014 年 8 月，清华大学学者发表:«云计算环境下仪器虚拟化研究»提出:"仪器云"环境下，仪器虚拟化系统的物理架构及广义的"仪器云"运作程序，未涉及智能电表远程在线检测系统具体案例。

近期，国家电网报就"国网云"平台上线运作作了一些省级电网业务系统迁移上云应用的报道。

再看国网的需求:从 2010 年至今，国网陆续安装应用三相智能电表约 3800 万只。从 2018 年起，这些量多面广的电表进入运行周期为 8 年的定期轮换更新阶段。为此，2017 年初，国网下发«关于 2017 年计量工作的指导意见（国家电网营销[2017]105 号）»文首次提出:"全面推进智能电表状态检测与状态更换工作",其"基础计量工作:全面开展全事件采集工作，提高计量在线监测和智能诊断的准确性"。"状态检测方面:先是完成 MDS 系统和营销业务系统的配套功能部署，再是按照先主站评价制定计划，再开展现场检测的原则，开展 Ⅰ,Ⅱ, Ⅲ 类用户计量装置的电能表状态检测"。

可见，由于国网计量部门未推广应用传统的智能电表远程在线检测系统，三相智能电表的状态检测，只能依靠现场检测，局部考核的方法。可以说，运行三相智能电表计量准确性的宽负荷范围，24h 持续考核是道技术难题。因此，研究符合国网:全面推行三相智能电表状态检测与状态更换要求的新一代智能电表远程在线检测系统开发与应用正当时！

3）本文作者经汇总以上新情况并将新一代系统具体化后，编写出:«电表开发新思维:智能电表与"仪器云"融合技术的应用»。本文重点叙述采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统开发项目，还讨论智能电表与"仪器云"融合技术的拓展应用开发项目及市场前景评估，供参考。

2,采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统开发项目

1）云计算环境下,仪器虚拟化技术

本部分内容主要录用于«云计算环境下仪器虚拟化技术研究»:

"仪器的虚拟化技术是实现仪器程序控制和远方测量的基础"。"很多原来由硬件设备完成的仪器功能，都可通过软件算法来完成，从而使仪器的开发和使用成本大为降低"。

云计算功能中有一项基础设施即服务（IAAS）模式:

"IAAS 模式的基本思想是将 CPU，内存，存储设备，网络设备等 IT 基本硬件资源通过虚拟机管理程序（VMH）进行虚拟化，然后按需分配给运行于上层的虚拟机（VM）。对用户来说，每个虚拟机（VM）实例就相当于 1 台带网络功能的自定义计算机或服务器"。

"目前，云计算中应用最广泛的是硬件级虚拟化技术，因为这种技术的效率最高"。
"硬件级虚拟化技术中，虚拟机与物理硬件具有相同的指令集合，虚拟机的绝大多数指令可以直接在硬件上执行"。

"仪器虚拟化新模式，将远程仪器模拟成云平台本地的硬件设备直接接入到虚拟机管理程序（VMH）中，告知 VMH 有仪器接入云中，而不提供任何与仪器操作相关的具体信息或功能"。

IAAS 模式下的远程测量方式:

仪器----（总线连接）----仪器提供者----（网络连接）----仪器虚拟化:CPU/内存/硬盘----虚拟机管理程序（VMH）----虚拟机（VM）:与仪器虚拟化及其 CPU/内存/硬盘一一对接，操作系统，测量程序。

2）采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统设计纲要

本部分内容主要参照«基于"测量仪器云"的电子式电能表远程在线检测系统»，«云计算环境下仪器虚拟化研究»，并结合本文作者实际计量工作经验编写而成。

一是，新一代系统架构，包括:

•用户（YH）:安装有被检电能表，新配置的高速率数据采集终端。

新配置的数据采集终端:以 4000Hz 的采样频率采集现场的电压，电流数据。"该数据采集终端由高精度数据采集单元，电表通信模块，4G 无线通信模块以及中央控制单元 4 部分组成"。其中，中央控制单元"在操控过程中，最重要的是应确保上传至"仪器云"的采样数据与被检智能电表的电能计量脉冲之间的时间要严格一致。这样，才能保证智能电表远程在线检测的精确度。中央控制单元可采用精密时钟协议 IEEE1588,来对数据采用终端与被检智能电表进行时间同步"。

数据采集终端的开发:为降低成本，可将电能计量自动化系统（或用电信息采集系统）中的负荷控制终端加以适当改造而获得数据采集功能。如现场条件不具备，也可以单独设计成产品来应用。

•电能计量自动化系统（或用电信息采集系统）主站（ZZ）

•仪器所有者（IS）:本地仪器（或本地工作计算机）的所有者

•仪器代理（IA）:部署于本地仪器的上位机（或本地工作计算机）中，或通过专门的硬件设备实现。IA 的基本功能是将本地仪器（或本地工作计算机）的接入信息通过网络推送到"仪器云"的仪器资源管理系统（IRM）上。同时，附加一些辅助信息，以便用户（YH）或仪器所有者（IS）对本地仪器（或本地工作计算机）进行识别等。
IA 将接入的本地仪器（或本地工作计算机）远程虚拟成资源节点。这些资源节点的状态信息被保存于"仪器云"的存储控制器（IM）上。

•"仪器云"平台，主要有:

---- 仪器资源管理系统（IRM）:受理由仪器代理（IA）推送的本地仪器（或本地工作计算机）的接入信息

---- 云控制器（CC）:其用户接口提供由用户来查询和调用已授权的仪器资源

---- 存储控制器（IM):提供仪器资源在云中的注册和管理功能

---- 集群控制 器（CLC）:内有节点控制器（NC）

---- 节点控制器（NC）:内有虚拟机，包括应用程序---操作系统--- 仪器驱动

•新一代系统架构内的通信方式

---- 仪器资源管理系统（IRM）,云控制器（CC）,存储控制器（IM）:

通过 4G 无线公网或电力专网接入:仪器代理（IA）,用户（YH）,仪器所有者（IS）,电能计量自动化系统（或用电信息采集系统）主站（ZZ）

通过共用的私有网络接入:集群控制器（CLC）

---- 集群控制器（CLC）:通过专用的私有网络接入节点控制器（NC），其内有虚拟机（VM）

---- 节点控制器（NC）:与仪器代理（IA）进行虚拟连接。

二是，新一代系统的运作要求与程序

•系统运作前的准备

电能计量自动化系统（或用电信息采集系统）主站（ZZ）:

按用户被检智能电表的现场检测要求，需向仪器代理（IA）提供的被检智能电表的参数，各类计算方法，检测结果的处理要求，保证检测正确性措施等。对向云控制器（CC）申请需用已授权的本地仪器（或本地工作计算机）的技术条件。

•对用户（YH）的要求:

系统主站（ZZ）发出检测命令后，首先进行被检智能电表与新配置的数据采集终端之间的计量时间同步。随后，将数据采集终端采集的现场电压，电流数据，被检智能电表的电能计量输出信息，通过 4G 无线公网或电力专网上传到 ZZ 申请需用的仪器代理（IA），进行数据/信息计算，处理。还需向 ZZ 发送远程在线检测的启，止时间。

•新一代系统运作程序

----系统主站（ZZ）"可通过云控制器（CC）
提供的用户接口来查询和调用已授权的本地仪器（或本地工作计算机）资源。当 ZZ 需要使用某一授权的本地仪器（或本地工作计算机）时，即可向 CC 提交申请"

----"然后，由 CC 向存储控制器（IM）发送资源调用命令。此时，IM 就可以将仪器资源节点的接入信息通过集群控制器（CLC）推送到 ZZ 申请需用的虚拟机所在节点上。最终，包含虚拟管理程序（VMH）的节点控制器（NC）将与本地仪器（或本地工作计算器）建立一个虚拟连接，并向其上用户运行的虚拟机（VM）发出硬件接入通知。随即，VM 上就会显示‘发现新硬件‘的信息，并提示安装驱动程序"。

---- 系统主站（ZZ）将系统运作前准备的各项要求，发送给 ZZ 申请需用并已确认的本地仪器（或本地工作计算机）节点的虚拟机上。该节点虚拟机按 ZZ 提供的各项要求，操作对用户被检智能电表的检测程序，并将检测结果发送回 ZZ。

---- 当 ZZ"使用完本地仪器（或本地工作计算机）后，该仪器资源可被 IM 回收。若该仪器资源为共享资源，那么其它用户可继续申请该仪器资源。所有的仪器资源调度和管理功能都在 IM 中实现"

三是，"仪器云"平台的搭建

先叙述"国网云":

•2017 年 4 月 27 日，"国网云"正式发布，一体化"国网云"平台同时上线。

"国网云"包括企业管理云，公共服务云和生产控制云。其中，公共服务云是覆盖外网区域的资源及服务，支撑电力营销，客户服务，电子商务等业务。
"国网云"部署于国网的三地集中式数据中心及 27 家省级公司的数据中心。2016 年，国网在其总部，北京，冀北，天津，上海，浙江，江苏，福建，黑龙江，陕西电力等单位组织启动了企业管理云和公共服务云的试点建设，部署云平台组件，实现同期线损等 12 类应用迁移上云。

•参考:"国网云"上云案例

冀北电力:营销稽查系统迁移上云

"国网云"操作系统可以根据营销稽查系统需求，自动匹配和选择最合适的资源。冀北电力通过云操作系统"应用管理"模块,进行营销稽查系统一键部署。几秒钟就可以完成 5 个应用实例的部署，并把实例平均分布在 3 台物理主机上。云操作系统还支持资源的状态转化，即物理机转变为虚拟机。

再讨论"仪器云"平台搭建的技术路线:

鉴于"国网云"具有明显的优势:强大的并行，分布式，跨域计算能力，根据迁移上云业务系统需求，自动匹配和选择最合适的资源，云操作系统支持资源由物理机转变为虚拟机。同时，用电信息采集系统和用户可以方便地上云。因此，本文作者建议:"仪器云"平台的搭建优先选用"国网云"作为依托，进行新一代系统部署。为此:

•先要编制适应国网"公共服务云"要求，经规范后的采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的操作和应用软件系统。

•经与有意向的省级电网数据中心协议:新一代系统的操作与应用软件系统，通过省级电网的"国网云"组件，在国网"公共服务云"操作系统中，开发相应的模块，进行采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的部署。

•新一代系统:应与
有意向的省级电网数据中心合作试点后推广应用。

说明:"仪器云"平台的搭建，采用与云计算服务供应商合作开发模式，待考证后再讨论。

3）采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统计量溯源的讨论

按 JJG 1001 的规定:校准,在规定条件下，为确定计量器具示值误差的一组操作。

•采用"仪器云"高精度计算给出的三相有功功率值，在用户被检智能电表的现场环境下，可以用高准确度的三相标准电表来进行现场校准测试。以 0.2S 级被检智能电表为例，由"器云"计算出的三

相有功功率的计量误差，应不大于 0.05%。在现场，可采用的三相标准表准确度宜为 0.01 级，或 0.02 级，实际计量误差不大于 0.012%。

•采用"仪器云"计算出的三相有功功率，在现场进行校准测试，目前还没有相应的计量校准规范。

作为第一步，建议先通过制定地方[计量器具]检定规程的渠道，经协商:由省级计量院为主，合作制定:采用"仪器云"高精度计算出的三相有功功率数据的计量校准规范。再报经省级计量行政部门批准发布在本地区施行，作为检定依据的法定技术文件。

有关新一代系统计量溯源的后续工作，视本课题进行情况再讨论。

4）采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统的应用前景

•国网，110kV 及以上高压变电站估计有近 10000 个站。近 5 年来，采用传统的智能电表远程在线检测系统约 400 个站，占总量的 4%。每个站按投资 30 万元计算，国网合计投资 1.2 亿元。

•采用"仪器云"高精度计算的智能电表远程在线检测系统，前面已经提到:由于不需要标准表及计算系统，互感器二次回路改进工程量小，投资大幅下降，可以普及应用，适应全面推进三相智能电表状态检测与状态更换工作的新需求。按 60%的 110kV 及以上高压变电站，每个站投资 10 万元计算，国网共需投资 6 亿元。

•再说，新一代系统可以扩大应用到月用电量为 100 万 kWh 及以上或变压器容量为 2000kVA 及以上的大工业户。这些用户约占国网拥有大工业户的 10%,即 5 万户。每户投资控制在 1 万元，国网需投资 5 亿元。

3,智能电表与"仪器云"融合技术的拓展应用开发项目

智能电表与"仪器云"融合技术优先选用"国网云"作为依托，在用电信息采集系统主站高级应用软件支持下，可能开发出电网计量，控制，补偿系列新产品，具有广阔的应用前景。

1）具有状态检测功能的三相智能电表。主要是将现有三相智能电表，经过技术改进，输出高速率的现场电压，电流采样数据，通过 4G 无线公网或电力专网，发送到"仪器云",在用电信息采集系统主站支持下，由"仪器云"高精度计算出三相有功功率，实现对这些运行三相智能电表进行 24h 的状态检测，无需再定期安排现场检测工作。

国网，推广应用具有状态检测功能的三相智能电表:现有大工业户 48 万户，每只新型 0.2S 级表计按 3000 元计算，国网需投资 14 亿元。非普工业户中用电容量最大的约 10%，即 128 万户，每只新型 0.5S 级表计按 2000 元计算，国网需投资 25 亿元。两项合计投资 39 亿元。

2）谐波源用户:安装具有非正弦波全功率（有功功率，无功功率，畸变功率，视在功率）计算功能的高端三相智能电表

该新型高端三相智能电表的非正弦波全功率计算功能，由该表计输出高速率的现场电压，电流数据，由用电信息采集系统主站提供非正弦波全功率计算软件，最终，由"仪器云"实现高精度的非正弦波全功率的计算，并将计算结果发送回该高端表计，进行数据保存和相应的处理。

据某省级电力计量中心对 60 个大工业户谐波源进行现场测试的结果:电压谐波含有率基本都在 5%以内，60%的大工业户电流谐波严重超标。

具有非正弦波全功率计算功能的高端三相智能电表的主要用途:由非正弦波畸变功率引起的大工业户低功率因数测试，由非正弦波引起用电能耗增长率评估，为电价行政部门制定控制电网谐波污染的经济制裁措施，提供现场计量数据。

推广应用方面，国网拥有大工业户的 20%，即 10 万户，安装具有非正弦波全功率计算功能的高端三相智能电表，每只表计按 4000 元计算，国网（或大工业户）需投资 4 亿元。

3）国网的高压变电站，公变台区（约 400 万个站），专变用户（约 150 万户）随着智能配电网建设的推进，需要安装应用较多的电能质量监测，智能控制与补偿设备，无功平衡监测与智能补偿装置，三相负荷平衡监测与智能补偿措施等，都可以在现有现场专用/综合终端基础上进行技术改进，或配置新的数据采终端，输出高速率的现场电压，电流采样数据，在用电信息采集系统主站相关软件系统支持下，由"仪器云"高精度计算并将计算结果发送回相应的终端，来实现以上各项配用电业务工程。

参考文献

[1] 何恒靖;赵伟;黄松岭 云计算环境下仪器虚拟化研究 《电测与仪表》- 2014-08-25

作者简介： 张春晖 男， (1938-)， 从事电能计量技术研究。

通讯作者： 张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com